



第十一届亚运会 气象保障研究论文集

第十一届亚运会气象服务中心



气象出版社

序

第十一届亚运会期间，我作为第十一届亚运会组织委员会的成员，参与了部分筹建和组织工作。以往也了解到气象对体育运动有很大影响，通常按照国际惯例，世界范围的奥林匹克运动会和许多大型体育运动会，都由主办国提供气象保障，以便运动会的组织者和各参赛代表团，针对天气条件采取相应的措施，保证体育比赛顺利进行。通过参加第十一届亚运会气象保障工作，使我们对气象与体育运动的关系，以及大型运动会气象保障系统工程复杂性有了更深刻的了解。

现代体育运动越来越注意与科学技术相结合，从体育项目的设立到运动规则的制订、运动员的选拔、赛前的训练、赛事的安排，最后到比赛成绩的确定，都有一套完整的程序，这些都是要符合一定的科学原理的。要发展体育运动除了加强体育运动本身的科学研究外，还需要有其它相关学科的密切配合，因而相应地发展起诸如运动生理学、运动医学等学科。随着体育运动实践中的气象科学问题的不断提出，近年来“体育运动气象学”也应运而生。这是我们过去尚未涉及或注意不多的交叉性的边缘学科。

在这次亚运会召开前三年，我们气象部门就按照组委会的要求，组织了一批有经验的气象业务和科研骨干，提供了专门的技术和设备，进行了现场观测、科学研究以及各项组织准备工作。在第十一届亚运会上，开展了有针对性的气象服务，得到了组委会以及参赛代表团的运动员和教练员的好评，取得了明显的服务效益。我曾多次与亚运会气象服务中心的同志们一起研究如何搞好第十一届亚运会的气象保障，一起制定保障方案，确定研究课题；一起检查现场观测情况，提前安排预演；一起会商赛场天气，向组委会提供决策依据，同时也一起分享他们取得亚运会气象保障成功的喜悦。我感到亚运会气象服务保障课题研究工作，是我们有组织地开展体育运动气象学研究的一个良好的开端。参加课题研究工作的同志们，是一个团结战斗的集体，他们本着“干实事、求实效”的精神，精心组织，认真研究，全身心地投入这项工作。为把他们的研究成果留下来作为今后工作的借鉴，将研究论文汇集成册是很有必要的。我希望在不久的将来，我国的体育运动气象学的研究，会有更进一步的发展。

骆继宾

1992.1.30

前 言

第十一届亚运会气象服务保障研究课题,是由国家科委支持的一项专项研究课题。它也是在亚运会组织委员会领导下,由国家气象局组织实施的亚运会气象服务系统工程的重要组成部分。按照组委会下达的任务,要求我们气象部门在赛前编印出赛场的气候背景资料;提供赛期特别是大型团体操的彩排、预演和开、闭幕式等重大活动的短时、短期和中长期天气预报;还要提供主要赛场的现场气象服务等。第十一届亚运会是历届规模最大的一次,共有 27 个比赛项目,分散在 30 多个比赛场馆,特别是秦皇岛海上运动场和平谷金海湖水上运动场,对气象环境要求比较高,赛场周围气象条件复杂,天气局地性特点突出。以往我们从未承担过这类任务,要作好气象服务保障工作,必须事先作针对性的研究工作。所以说亚运会气象服务科研,是作好气象保障的基础。本文集收集的 50 篇论文,是该课题研究的科研成果。

亚运会气象服务保障研究课题是由北京市气象局、国家气象中心、中国气象科学研究院、国家卫星气象中心和河北省气象局的科技人员联合承担。目的在于通过研究针对大型体育运动会特殊要求的气象问题,加深对体育运动气象学的认识;并且研制一些满足运动会气象服务要求的专题气象预报方法,以提高亚运会气象服务的能力和水平。从 1986 年开始调研;1987 年 9 月批准立项;三年的联合攻关研究;一直到 1990 年亚运会期间实地气象服务保障,整个过程都受到了有关单位领导的热情支持,为确保课题顺利进行提供了很好的条件。各单位承担课题任务的科技人员发扬团结协作的精神,全力以赴,发挥各自的优势,圆满完成了预期科研课题任务,并在亚运会气象服务保障的实践中,将所研究的科研成果立即转化为气象服务保障能力,创造了一流的亚运会气象服务保障效果,发挥出切实的作用。得到亚运会组委会领导和广大群众的赞扬,也得到了国内外体育代表团和国际体育组织官员的好评。亚运会气象服务保障科研课题,为今后开展体育运动气象学的研究和提高局地天气预报能力,为特殊专项服务提供了有益的经验。

按照事先收集的 66 项科研申请报告,技术组根据批准立项的要求和现有条件,筛选出各有关单位可承担的亚运会气象服务保障科研项目。将科研总课题分解为三个分课题,共 40 个子课题,参加科研工作的有各单位的业务骨干 200 多人。三个分课题为:

1. 亚运会赛期各时段天气预报方法研究

通过充分利用各种数字化雷达、分层显示卫星云图、局域地面中尺度网资料以及专门的赛场加密观测资料,提高对中小尺度天气系统的分辨率,研究出一套赛场需要的短时降水分级、落区和对流性天气的预报方法。

针对组委会安排赛期活动决策的特殊要求,提供比较可靠的天气环境条件的客观依据,需研制出 12—36 小时范围,分时段、多要素、多时次、多方法、程序化、客观化以及人机交互的短期天气预报方法。

从较长时间范围安排亚运会活动的需要出发,以数值预报产品为基础,针对中期降水过程,结合历史上赛期天气过程特点,研究出 3—5 天综合中期预报方法。此外,研制反

映赛期气候特征的专用数据库,实现赛期前一个月的自动化长期天气趋势预报。

2. 赛场气候背景和气象与体育运动关系的研究

通过对气象条件敏感的六个主要赛场,进行为期三年的现场观测,结合亚运会比赛项目特殊需要,分析赛场的气候特点,给出有关赛区的天气、气候背景评价分析。

从大气环境对体育运动影响角度出发,研究大型体育运动会对气象条件的要求,气象要素变化对有关体育项目的直接影响。以及针对特殊赛场(射击场)对风场分布的要求,开展微气象观测分析研究等。

3. 赛场气象要素显示和气象资料产品传输系统的研究

为使参加亚运会的运动员、教练员和来宾们,对气象条件变化有直接了解,在亚运村、机场和一些比赛场馆研制设置气象要素显示系统。为有利于亚运会气象服务中心与有关比赛场馆的联系,设计开通实时资料和预报产品传输的专用通信系统和天气警报系统。

亚运会气象服务保障研究课题针对性强,从亚运会气象服务要求实际出发,突出了重点,强调可操作性,切实解决气象服务保障问题,取得了明显的实际效益。从科研协作联合攻关角度看,各单位之间合作气氛很好,从资料使用、方法交流、实际检验大家都能以“为创亚运会一流服务”的全局为重。赛前还组织了模拟预演,以检验课题成果的实用性、客观性和是否形成了服务能力,从而发现问题有利于推动科研的深入进行。从更广泛的角度来讲,这项课题研究的开展还有利于推动我国体育运动气象学的进一步的开展。今后我国还要举办各种大型运动会,甚至会举办奥运会,这向我们气象工作者提出更多、更深的体育运动气象问题。在这方面,将有更多的工作等待我们去做。

恽耀南、陈善敏

1992.1.28

目 录

序 前言

I. 北京赛区短期天气预报

开、闭幕式晴雨天气的综合预报·····	吴高任等 (1)
中雨以上降水预报专家系统·····	李廷福、陈大刚 (4)
北京城近郊秋雾的分析及预报·····	弓学忠、方玉玲 (8)
利用欧洲中期数值预报中心产品制作北京地区天气预报·····	潘汉明等 (13)
数值预报物理量在 24—36 小时降水预报中的应用·····	顾秋瑾等 (18)
欧洲中期数值预报中心 500hPa 24、48 小时预报性能的检验·····	董立清等 (23)
有量降水的统计预报方法·····	王春环 (29)
北京赛区大风、气温预报方法·····	张明英、周晓平 (33)
人机对话系统产品在天气预报中的应用·····	贾秀娥等 (37)
影响北京降雨的几类天气系统云系特征·····	姚登云 (40)
北京及秦皇岛 9—10 月短期预报水平评价·····	杜育芝等 (44)
亚洲主要城市天气气候背景的分析研究·····	王友恒、王素贤 (49)
亚运会期间旅游景区天气预报·····	邢如均等 (54)
亚洲主要城市天气预报动画显示软件开发研究·····	张德祥等 (56)
北京赛区天气气候资料查询系统·····	杨宝忠等 (59)

II. 北京赛区短时天气预报

北京地区地面风场数值模拟试验研究·····	王迎春 (63)
多普勒天气雷达资料在强天气短时预报中的应用·····	张沛源 (68)
使用卫星云图制作对流天气短时预报的方法·····	项续康等 (75)
降水及强对流天气短时预报专家系统·····	陆晨等 (81)
北京城区降水特征及强降水形势的合成分析·····	吴正华 (86)
北京城区降水落区甚短时预报研究·····	孟婵等 (90)
12 小时有量降水预报·····	王翠娣 (93)
北京地区强烈天气落区短时预报方法研究·····	石定朴 (95)
非对流性降水的短时预报·····	刘延英等 (100)

III. 北京赛区中长期天气预报

多层次综合相似分析和长期天气预报·····	陈兴芳 (104)
北京地区天气条件趋势分析及长期预报·····	袁景凤 (111)

9月下旬至10月上旬北京地区气温变化的分析与预报	张秀果 (120)
亚运会期间北京最大风速的长期预报	魏凤英 (128)
北京秋季中期过程的谐波参数诊断分析	谢 庄、刘燕辉 (134)
好、坏天气时段气候特征分析及中期预报	晁淑懿等 (139)
北京地区3—5天降雨天气的趋势预报	李晓东等 (153)
滑动相关系数在北京旬气温、降水预报中的应用	于淑秋 (158)
中期天气综合预报流程	刘元训 (164)
北京地区旬降水量趋势预报方法研究	马德贞等 (168)
9、10月份中期降水过程预报	高树德 (176)

IV. 秦皇岛赛区气象服务保障

秦皇岛帆船赛场风况的分析及预报	蔡 政、曹建新 (178)
海上赛区风况的分型预报	王巨兰 (183)
风的天气统计短时预报方法	马安民等 (186)
秦皇岛赛区天气要素的MOS预报	郭惠宁、颜木荣 (191)
秦皇岛市短期降水的MOS预报方程	张玉琦、宁秀凤 (196)
海上赛场短时降水预报方法研究	刘向前 (203)
亚运会秦皇岛海上赛区气象预报服务系统程序设计	刘增基等 (208)
秦皇岛天气气候背景分析	杨喜魁、汪德森 (214)

V. 体育运动中的其它气象学问题

北京西郊射箭场内风场特征的观测分析	陈 松、王晓云 (218)
北京地区气候背景及主要赛场小气候规律分析研究	潘莉卿 (222)
大气环境对人体影响的研究	王衍文等 (228)
历届奥运会、亚运会和全运会气候条件评价	林之光 (234)
我国适宜举行大型运动会的季节和地点的研究	林之光 (239)
天气条件对中长跑及马拉松跑的影响初探	张苏平、孟广林 (250)
风对短跑的影响分析	许以平 (257)

VI. 附 录

开、闭幕式晴雨天气的综合预报

吴高任
(北京市气象局)

姜紫嫦 储锁龙 张云革
(北京市气象科学研究所)

一、引言

由于亚运会开、闭幕式等大型活动的重要性与组织工作的复杂性,客观上需要提前两天作出准确的晴雨预报,这实际上就是降水定点预报问题。80年代以来,国内外一些大型体育比赛的开、闭幕式,常遇到降雨天气条件,甚至临近预报也屡见失误,这对组织者以及观众的影响是不言而喻的。对北京、秦皇岛12至36小时分段降水定性预报水平的调研表明:80年代以来,降雨预报的能力虽取得了明显的进展,但现有的预报能力仍然较低,还不能适应大型国际比赛的需要。

本文应用长时序天气图资料的统计预报方法,结合48—72小时数值模式输出诊断结果提出的综合预报模型,旨在区分未来48—60小时时间的晴雨问题,为开、闭幕式天气预报的决策提供比较客观的依据。这一综合预报模型的预报流程。从数据采集到输出预报结果均由VAX-II计算机自动处理,模式输出诊断结果仍依赖人机对话。这一预报模型,兼顾了实时资料长和数值形势预报精度高的优点,提高了自动化客观化的程度,并改进了晴雨分辨能力。

二、预报流程与方法

国内外的研究表明,数值预报对改进局地降水预报提供帮助是有限的。为改进模式输出结果所采取的模式输出统计预报方法,主要适用于那些大范围的降雨天气过程。目前广泛应用的模式输出诊断和天气图、卫星云图的分析诊断,虽然是有效的,但需要丰富的地方天气的诊断经验,在短期内大幅度地提高降水预报的水平也存在一定难度。

本文提出的以天气分析统计为基础的综合预报模型的工作流程分为四步。

1. 无雨预报

9、10月间,北京白天预报时段(08—20时)有雨的气候概率为12%,在某些情况下,根据天气形势的统计分析,对未来48—60小时时间无雨这一命题较易作出判断,而有雨则比较困难。预报无雨的证据是根据1971—1989年9、10月间,20年来未曾发生或极小发生降水的十个环流特征的条件组:

C₁: 当 ΔH (乌鲁木齐—老东庙)₅₀₀ > 8位势什米 $\wedge$ ΔP (酒泉—北京)_{海平面} > 6.0hPa时,预报时段内有雨的概率为0.7% (1/136),远低于气候概率,可作为预报无雨的依据。表明当500hPa新疆东部建立起明显的偏北气流且地面冷高压前大气压梯度已进入酒泉与北京之间时,在未来48至60小时的时段内,受东移高压区控制,降水的可能性很小。

C₂: 当 ΔH (呼和浩特—大连)₅₀₀₊₇₀₀ < -4位势什米 $\wedge$ ΔH (伊尔库次克—哈尔

滨)₅₀₀₊₇₀₀ > -2 位势什米时, 48—60 小时时间发生降水的概率为 1.2% (1/56)。表明当对流层中层有低值系统影响内蒙南部, 只要贝加尔湖地区不存在特别显著的低值系统时, 未来 48—60 小时北京将脱离它的影响, 而很少可能有雨。

C₃: 当 ΔH (哈密—北京)₈₅₀ > 6 位势什米 $\wedge$ ΔH (西安—徐州)₈₅₀ > 4 位势什米时, 有雨概率为 1.2% (1/83)。表示当北京上游 850hPa 等压面高度呈明显的“西高”时, 若黄河下游地区低空也存在明显的“西高”形势特征, 也极小可能降雨。

无雨的统计证据还有 C₄、C₅……C₁₀, 是根据天气学的基本原理从各等压面上选取的; 并兼顾上、下游和中高纬度间的形势及锋区特征等相互匹配关系, 不一一赘述。

2. 环流分型

在不同的环流背景下, 具有不同的预报着眼点, 统计结果也证实了这一点, 因此对不符合上述无雨证据的子样 (具有更大可能降雨的子集) 进行客观分型处理是必要的, 但不宜过多。共分为两类:

(1) N 型: 当 ΔH (酒泉—北京)₅₀₀ > 3 位势什米时, 即在我国东部中纬度上空偏北风占优势。

(2) S 型: 当 ΔH (酒泉—北京)₅₀₀ < 2 位势什米时, 是 500hPa 呈纬向环流或偏南风占优势的一种类型。

这种简单的参数分型, 虽有时也难以确切表达环流特征的实际, 但便于微机自动识别。

3. 两类环流条件下的晴雨天气预报

选取各种特征量分别对 N、S 环流型下的晴雨作判别, 虽不是决定开、闭幕晴雨天气预报的最后步骤, 但对预报结果具有重要的影响。每型的预报条件共十项, 并根据与降雨相关性的大小给出有雨的信度。以 N 型为例, 降雨的预报因子有:

R₁: 令 ΔH (哈密—磴口)₅₀₀ = a, ΔH (酒泉—北京)₅₀₀ = b, 这一命题有雨的信度为

$$FR_1 \begin{cases} \text{当 } a \leq -5 \vee b \geq 13 \\ \text{当 } a \leq -5 \wedge b \geq 8 \end{cases}$$

时, 有雨的信度为 0.11, 否则为 0.01。表明在 40°N 附近, 当河西走廊呈明显的高压脊时, 是有利于北京在 48—60 小时时间发生降雨。

R₂: 令酒泉 700hPa 等压面高度为 H, 这一命题有雨的信度

$$FR_2 \begin{cases} \text{当 } H \geq 316 \\ \text{或 } H \leq 311 \end{cases}$$

时, 有雨的信度为 0.10, 否则为 0.02。表明当酒泉 700hPa 等压面高度特别偏高或偏低时, 都有利于预报时段内降水的发生。

R₃: 令海平面气压差 Δp (酒泉—北京) = a, ΔH (哈密+磴口)₅₀₀₊₇₀₀ = b, 这一命题有雨的信度

$$FR_3 \begin{cases} \text{当 } a \leq -12.0 \\ \text{或 } a \geq 4 \wedge b \leq -2 \end{cases}$$

时, 有雨的信度为 0.11, 否则为 0.01。表明当海平面气压场呈显著的“东高西低”或北京地形形势相对酒泉具有一定的“西高”, 若新疆东部 500hPa 已建立一定的偏南气流时, 也利于未来北京发生降雨。

R_4 : 令 ΔT (郑州-30965 站)₅₀₀ = a, ΔH (乌兰巴托-50774 站)₅₀₀ = b, 这一命题有雨的信度

$$FR_4 \begin{cases} \text{当 } b \leq -7 \text{ 位势什米} \\ \text{或 } a \geq 8^\circ\text{C} \wedge b \leq -1 \text{ 位势什米} \end{cases}$$

时, 有雨的信度为 0.12, 否则为 0.01。表明当蒙古中部 500hPa 的等压面高度较我国东北部明显偏低; 或在内蒙北部至黄河下游存在明显的纬向锋区, 且蒙古中部相对于东北部具有“西低”环流特征时, 在未来 48—60 小时之间, 北京易发生降雨。

表示大尺度环流或锋区特征的预报因子还有 $R_5, R_6, \dots, R_{10}$, 当 $\sum_{i=1}^{10} CR_i \geq 0.42$ 时, 统计分析的结果应预报有雨, 反之为无雨。

4. 数值模式输出诊断结果的印证和预报结论的确定。

众所周知: 用统计证实的前期环流特征与未来晴雨的因果关系是随机的。尽管历史的拟合率很好, 但这种因果关系中含有某种程度的假象, 因而实际的预报准确率与历史拟合率之间总有相当的差距。为尽可能纠正某些不合理现象, 有必要应用数值模式的形势预报精度, 对统计预报结果的合理性进行印证。印证的原则是:

- 1) 若统计预报结果有雨, 而数值模式输出诊断结果有雨或有雨、无雨不明确时, 应预报有雨;
- 2) 若统计预报结果有雨, 而数值模式输出诊断结果比较明确无雨时, 应预报无雨;
- 3) 若统计预报结果无雨, 而数值模式输出诊断结果无雨或有雨、无雨不明确时, 应预报无雨;
- 4) 若统计预报结果无雨, 而数值模式输出诊断结果比较明确有雨, 应预报有雨。

综合上述可知, 实时资料的分析统计预报结果, 旨在帮助根据数值预报难以作出明确结果时作出预报决策。从而减少主观分析决策的错误, 改进了晴雨预报的能力。

三、业务效益与问题的讨论

综合预报模型已为亚运会开、闭幕式时晴雨预报提供了正确决策的依据, 尤其在 1990 年 9 月 20 日发布 22 日白天开幕式预报时, 不仅模式输出诊断结果有降雨的可能, 直接由欧洲中期数值预报中心作出的数值模式统计解释也预报有雨, 本课题的两种预报模型 (原预报方案和改进的预报方案) 都提出了无雨的证据, 并使赛期逐日的第三天白天时段的降水预报能力达到过去三年同期 12—36 小时分段预报的水平。

问题是基于实时天气资料的统计预报方法, 对于如此长时效的晴雨预报的有效程度仍值得研究, 明显地表现在雷雨等小范围的降雨天气易出现漏报, 模式输出诊断结果有时也因地方性天气经验不同而有不同的理解, 因而实际的降雨预报准确率与历史拟合率差距仍较大。

中雨以上降水预报专家系统

李廷福 陈大刚
(北京市气象台)

一、概述

普查赛期(9月11日—10月10日)中雨以上降水,20年中仅29例,属小概率事件,采用专家判别系统方案较为适宜。

使用资料为1966—1988年9月11日—10月10日的08时高空、地面图。由于主会场在城区,我们确定预报对象为城近郊五站(朝阳、丰台、海淀、石景山和观象台)中12小时降雨量有 $>10\text{mm}$ 的中雨以上降水,共计34段,其中出现在夜间16段,白天18段,最强的一段是1969年9月25日白天,南郊降水量为69.9mm。

按预报时段分12—24小时及24—36小时,共建立两套预报工具,以后一时段的预报(即第二天白天)为重点,当接近满足条件时,06点还可做一次订正预报。

二、系统结构

本系统采用PROLOG推理外壳。由两大模块组成,即资料处理模块和推理模块。

资料处理模块:采用BRASIC语言,把每天所使用的资料,由机器进行必要的数学处理,产生推理时所需要的数据库,然后将数据库加到推理模块中去。这里需注意的是,有些问题在建数据库时,机器不好判断,需采用人机对话方式进行人工判别。

系统运行框图如图1所示。

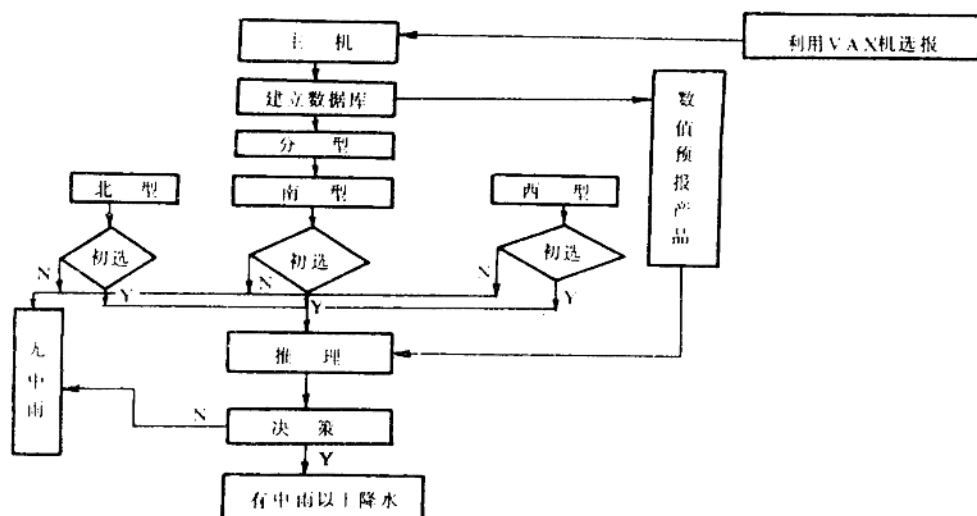


图1 系统运行框图

推理模块：是一种陈述式的逻辑程序设计语言，根据数据库中的知识及一些必要的事实和规则，自动求解一些程序设计的问题。

三、知识库的建立

专家系统的重要组成部分是建立专家知识库，知识的水平如何，知识库建立的合理与否，将直接影响专家系统的质量。本系统知识库的建立过程由如下五个部分组成。

1. 收集预报知识

专家系统的知识主要来源于预报员（特别是老预报员）的经验。经分析归纳，共找出可提供使用的经验 120 余条。

2. 分型

经验与统计结果表明，对于明显降水过程可分为三个型：在西来系统到达之前，往往有一辐合区自西向东移，称为西向辐合型（记为 W 型）；在南来系统到达之前均有一辐合区自西南东北上，称为南向辐合型（记为 S 型）；在北来系统到达之前均有一辐合区向西北或北部移来，称为北向辐合型（记为 N 型），N 型按其路径又可有西北路和北路之分。

为把那些显然不可能产生中雨以上降水的样本滤掉，还采用入型初选条件以过滤样本。

3. 选取因子

将所收集到的预报知识进一步分析整理，择优选出与预报对象关系密切的因子，组成规则，构成知识库。我们从 08 时常规天气图中共选出 41 组必要因子，从产生降水的基本条件出发，共分为四大项。以当天夜间的预报为例，W 型的预报因子是：

A. 动力辐合项（中上层系统辐合强度）

① 反应高空槽强度的高度差：取槽线附近及两侧脊代表站之高度差。

② 槽底最大风速：酒泉、民勤、银川中有偏西风速 > 10 米/秒。

B. 辐合发展项（低层热力、动力加强项）

① 850hPa 温度平流

$$\Delta T = \Delta T(\text{呼和浩特}-\text{达兰}) + \Delta T(\text{延安}-\text{北京}) > 0$$

② 地面形势：关键区内有低值系统。

C. 水汽输送项

中低空 $(T-T_d)$ ：取两层上游六个站点

$(T-T_d) < 5$ 的个数。

D. 不稳定项

指标 K：取呼和浩特、太原、北京中两最大 K 之平均 $\bar{K} \geq 23$ 。

S 型、N 型及第二天白天的预报因子可类似选出。

4. 划分因子等级

选定因子之后，将四项中某些重要因子按其对应降水贡献大小分为二至三级，根据因子的强度数值和分布形势，最有利的定为二级，其次定为一，不利的定为零级。

以当天夜间的预报为例，W 型等级划分条件如表 1 所示。

表中看出，因子越强，等级数越大，越有利于降水。其它型因子等级可类似得出。

表 1

项目 因子范围 等级	A	B	C	D
0	$\Sigma\Delta H < -5$	$\Delta T_8 < 1$	$\Sigma(T-T_d)_7$ 小于 6 的站数 < 4	$K < 23$
1	$-5 < \Sigma\Delta H < 5$	$\Delta T_8 > 1$	$\Sigma(T-T_d)_7$ 小于 6 的站数 > 4	$23 \leq K < 28$
2	$\Sigma\Delta H > 5$			$K \geq 28$

5. 组建预报规则

组建预报规则分两步进行。第一步以产生中雨以上降水的天气系统为主，组建入型初选条件规则。

表 2

类型	人型初选条件规则
W	河西槽 ₍₅₎ + 河西槽 ₍₇₎ + 晋西槽 ₍₈₎ + $\Delta T_{(8)}$ + 五台山风
S	河西 SW 风 ₍₅₎ + 河套槽 ₍₇₎ + $\Delta T_{(5)}$ + $\Delta(T)_{(7)}$ + 五台山风
N	河西 NW 风 ₍₅₎ + 蒙古槽 ₍₇₎ + 河套槽 ₍₈₎ + ($\Delta T_{(5)}$ 或 $\Delta T_{(7)}$) + 五台山风

以当天夜间的预报为例，如表 2 所示，对表内某型条件的合成，做出可能有无中雨以上降水的推断，全部满足条件，可能有中雨以上降水。否则，无。

第二步，在可能出现中雨以上降水的基础上，将预报知识用产生式规则表示法，以产生较大降水的基本条件为中间节点，采用多步推理方法，进行预报因子分析，做出逻辑推断。组建的预报因子规则，如表 3 所示。

表 3

类型	预报因子规则
W	中上层辐合 _(5, 7) + 槽底最大西风 ₍₅₎ + 温度平流 ₍₈₎ + 地面形势 + 中低层水汽 _(7, 8) + 不稳定
S	中上层辐合 _(5, 7) + 冷平流 ₍₈₎ + 偏南风 ₍₇₎ + 地面形势 + $(T-T_d)_{(7)}$ + 不稳定
N	中上层辐合 _(5, 7) + 冷平流 _(5, 7) + 华北风场 ₍₈₎ + 地面形势 + 低层水汽 _(8, 地) + 不稳定

注：角标为因子来源的等压面层。

表 3 中为各型因子的合成，其中同类项在不同类里的取值和形势内容不同。若按四项组成规则，可表示为：

$A \wedge B \wedge C \wedge D \rightarrow 12-24$ 小时有中雨以上降水，

若考虑其中偏弱或更强项的贡献差异，可将各项分级系数定为 a、b、c、d，则

$a+b+c+d > 4 \rightarrow 12-24$ 小时有中雨以上降水。否则，无。

四、历史资料验证

为对挑选的因子和组成的规则进行检验，证明其是否可靠和有效，并从验证中发现问题予以改进，我们用 1987—1988 年 9 月 11 日至 10 月 10 日 08 时天气图资料检验预报，其预报准确率为 2/4，中雨有无预报为 58/60，其中 1987 年 9 月 23 日夜及 1988 年 10 月 4 日白天的中雨准确地预报出来，表明本系统对中雨以上降水有一定预报能力。

五、亚运会服务情况及问题

亚运会期间（9月11日至10月10日）每天下午4点半提供当天夜间、第二天白天的预报结论。在四次中雨中，除一次漏报外，共预报三次有中雨，其中一次完全正确，另两次，五站中最大降水只有5—6mm，但26日白天有2/5站达10mm以上降水，西北部19—24mm，评定正确；13日夜间的中雨落区略偏北（昌平及以北在15mm以上）属空报。评定正确率2/4。中雨有无预报28/30。其中9月16日白天的中雨预报效果较好，15日各项条件基本满足，预报第二天可能有中雨，16日06时也订正满足中雨条件，值班员参考了这个意见，发布傍晚有雷阵雨和短时大风，实况是：城近郊五站达6—12mm降水，东北部为23—27mm，部分地区有短时大风和冰雹。

北京城近郊秋雾的分析及预报

弓学忠 方玉玲

(北京市气象台)

秋末冬初,北京城近郊的雾发生频率较高,如其水平能见度小于一公里,对城市交通安全影响较大,并可能引起运动事故。当雾的水平能见度小于 50 米时,还会使电网输电线路上的瓷瓶绝缘性能大大减弱,从而引起跳闸和微机失控,造成供电事故。为了提高“亚运会”期间的气象服务水平,本文对北京近 30 年内出现的秋雾做了天气学方面的分析,并建立了短期预报方程,经历史回报、试报和亚运会期间实报,效果均较好。

一、秋雾的气候概况

秋雾一般在日出前形成,日出后消散。北京地区 1959—1989 年 9—10 月全市共出现大雾过程 255 次,平均每年有秋雾 8 次。城近郊只出现了 69 次,平均每年 2.2 次。在“亚运会”竞赛期间(9 月 22 日—10 月 7 日),城近郊共出现大雾 30 次,平均每年有 0.97 次。需要指出的是,在这一期间秋雾发生的频数年际变化都很大,例如 1970 年到 1974 年连续 5 年无雾,而 1980 年却出现了 3 次大雾。今年“亚运会”期间只出现 1 次,接近多年平均情况。

二、秋雾的几个特点

统计分析表明,北京的秋雾有下列特点:

1. 北京地区的雾主要是辐射雾或辐射平流雾,约占 90%,其它类雾极少(见表 1);

表 1 各类雾发生频率统计表

雾的类别	辐射雾	辐射平流雾	平流雾	其它类
出现次数	32	30	6	1
占总次数百分比(%)	46.4	43.5	8.7	1.4

2. 分布很不均匀,常成散片分布。就全市而言,平原多于山区;就城近郊而言,朝阳、海淀明显多于丰台;

3. 绝大多数雾在后半夜至次日凌晨前生成,于上午 10 时前消散,有些平流雾可在白天生成,下午 2 点以后消散甚至整日不消散(见表 2、3)。据调查,白天 10 点以前的雾绝大多数属于辐射雾或辐射平流雾,而白天生成的雾或中午才消散的雾均属于雨后平流雾。

4. 在雨后微风($1-3\text{m/s}$)夜间晴朗的情况下极易生雾,这种雾约占全部秋雾的一半;

5. 秋雾具有比降水天气更强的地方性特征,在近 30 年的气象观测资料中,很难找到

同一时刻里全市各观测站都有雾。

表 2 北京秋雾(9—10月)生成时间表

生成时间	次数	占总次数百分比(%)
前半夜(18—24时)	6	8.7
后半夜(24—次日05时)	44	63.7
次日早晨(05—08时)	18	26.1
白天(08—20时)	1	1.5

表 3 北京秋雾(9—10月份)消散时间表

消散时间	次数	占总次数百分比(%)
上午10时前	60	87
中午前后(10—14时)	8	11.6
下午14时以后	1	1.4

三、雾的成因分析

雾是贴近地面层中的一种水汽凝结现象。水汽欲凝结,必须达到饱和状态,一般未饱和和湿空气使其达到饱和需要有两种过程;一是增加气团的水汽量,即主要靠湿地表蒸发和上游地区水汽输送;二是使气团发生冷却。依据热流量方程有:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -V_2 \cdot \nabla_2 T + \frac{(\gamma_d - \gamma)RT}{\rho g} \cdot w + \frac{\epsilon}{c_p}$$

由于在近地面层 w 很小,可近似看做 0,因此在近地面层温度的局地变化主要决定于温度平流 ($-V_2 \cdot \nabla T$) 和热流量 (ϵ/c_p) 两个因子。因此,雨后无风、天气晴朗的夜晚很容易出现大雾天气。因为这时

- (1) 冷气团刚刚控制本市,冷平流作用显著;
- (2) 地表湿,蒸发作用强;
- (3) 雨后空气湿度大;
- (4) 有效辐射强。

此时近地面层空气容易达饱和状态。

本市城近郊大雾出现的机率与邻近的保定、沧州、天津、唐山等地相比要小得多,因此本市出雾需要更加严格的天气条件。

通过分析可以知道,本市秋雾的环流背景是十分复杂的,就 500hPa 等压面而言,既可以在蒙古暖高压脊前西北气流控制下出雾,也可以在河套低压槽前西南气流里出雾,还可以在亚洲中纬度平直西风带中出雾。并且每种天气形势下所需的条件也是很不相同的。天气形势虽然千差万别,但也有共同点,这就是:在生雾之前 700hPa 或 500hPa 上本市及华北地区存在着下沉气流,而地面至 850hPa 之间却存在着弱的辐合上升气流。上层的辐散下沉,使得该层内气温升高、湿度减少、促使本市天空云量减少或继续维持少云天气,有利于夜间有效辐射增大,造成下层降温显著。此外下层的上升运动,加大了其自身的冷却,使其湿度加大,这样就会在本市上空形成逆温层。逆温层的存在阻止了低层水汽

向高空输送,从而有利于近地面层水汽的积累,湿度增大。另外近地层的上升运动也会使地表蒸发作用得以持续和加强,也有利于低层水汽的积蓄。逆温层的存在是形成雾的必备条件,然而逆温层所在的高度一定要适中,高度过高了往往生云;高度过低了又往往生露、霜或轻雾。不同的天气条件下生雾所需的逆温层顶高度是不同的,一般需要几十米到数百米。当本市完全受蒙古冷高压控制时,中低空都是辐散下沉气流,本市低空难以生成逆温层,因此不会有雾。相反,当本市中、低空完全受低值系统控制时,上升运动比较旺盛,低空也难以形成逆温层,这时本市往往为阴雨或多云天气,也难以出雾。只有当本市及华北地区受暖低压或变性冷高压控制且近地面层空气湿度比较大(或地表比较湿)、湍流作用比较弱(1—3m/s风)、夜间比较晴朗时,本市才有可能生成大雾天气。由于北京城近郊区距离西部和北部山区近,受山谷风影响和焚风效应影响显著,因此本市很难满足生雾条件,这可能是北京城近郊区比邻近某些地区少雾的一个主要原因。

四、秋雾的预报方程

雾是一种地方性很强的近地面层天气现象,因此在预报着眼点上,既要考虑环流背景,又要十分注重本站温、湿、风及稳定度的分析,以便对控制本市的气团基本属性有较多的了解。在对大量个例进行统计分析的基础上,经过反复筛选,建立如下预报方程:

$$\hat{y} = 0.15x_1 + 0.13x_2 + 0.17x_3 + 0.21x_4 + 0.23x_5 + 0.11x_6$$

$$y_c = 0.61$$

当 $\hat{y} > y_c$ 时,预报当日夜间到次日白天本市城近郊有大雾,否则无大雾。

1. 上述方程使用时应具备下列前提条件

(1) 本市观象台当天08时,11时,14时地面观测无4m/s以上偏北风,且前一天8时定时观测无8m/s以上偏北风;

(2) 本市13时300米高度及地面的平均风速或900—1000米高度平均风速不超过4m/s;

(3) 本市夜间无冷锋过境,或虽有冷锋过境但锋后无4m/s以上的风;

(4) 本市夜间没有回流天气。

其中后两条主要以数值预报产品为依据。当全部满足上述4个条件时,本方程可使用,否则,预报当天夜间到次日白天无雾。

2. 方程中各预报因子的物理意义

x_1 : 本市上游地区08时500hPa或700hPa湿度状况。由呼和浩特、海流图、银川三站所组成的区域为上游选区,当选区多数站为偏北风, x_1 为北区(由沙音山片、二连、呼和浩特、磴口、海流图五站组成)的平均 $(T-T_d)$ 值;当选区多数站为偏南风时, x_1 为南区(由延安、西安、兰州、银川、平凉五站组成)的平均 $(T-T_d)$ 值。当选区为其它风向时, x_1 为上述两区的平均 $(T-T_d)$ 值。若 $T-T_d > 10^\circ\text{C}$ 时, $x_1 = 1$,表示本站高空未来将有干气团移来,有利于本市辐射降温,否则 $x_1 = 0$;

x_2 : 08时850hPa本市上游地区冷空气活动情况。当 $37-43^\circ\text{N}$, $105-115^\circ\text{E}$ 范围内有冷温度槽,或出现24小时负变压区时, $x_2 = 1$,表示本市低空未来将有冷空气侵入,否则 $x_2 = 0$;

x_3 : 地面湿度状况。当 14 时本市地面 $(T-T_d) < 10^\circ\text{C}$ 且相对湿度 $> 50\%$ 或当保定、沧州、天津任一站 $T-T_d < 10^\circ\text{C}$ 且吹偏南风时, $x_3 = 1$, 表示本市或附近地区近地面层空气湿度较大, 否则, $x_3 = 0$;

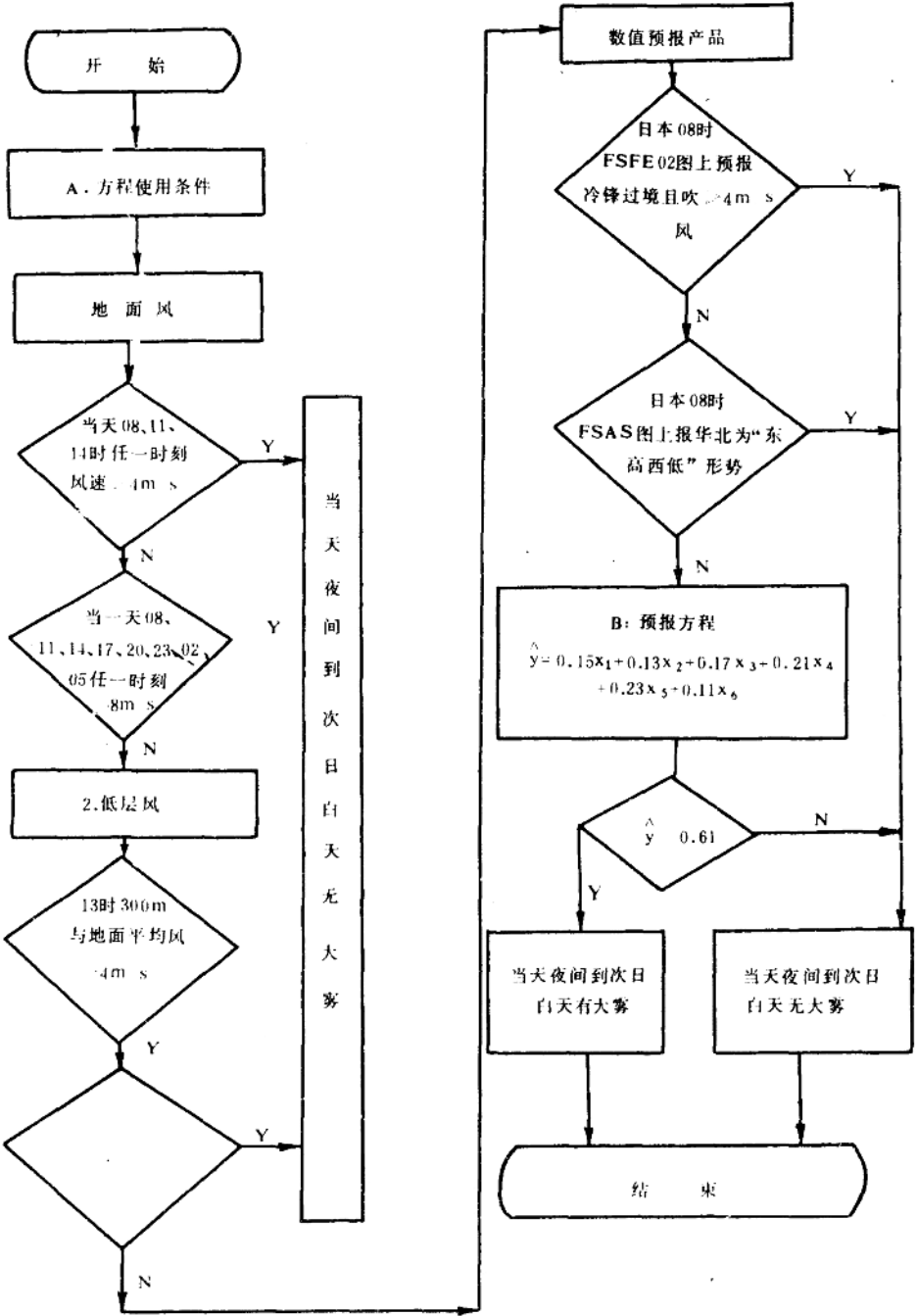


图 1 雾预报流程图